

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ В НАКОВАЛЬНЯХ БРИДЖМЕНА НА ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРЫ НИКЕЛЯ

*Красноперова Ю.Г., Воронова Л.М., Чашухина Т.И., Пилюгин В.П.*

*Руководитель: д.т.н. Дегтярев М.В.*

*ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия,*

**highpress@imp.uran.ru**

Проведено сравнение структуры никеля (99.98% Ni), формирующейся в ходе деформации в наковальнях Бриджмена при комнатной температуре (холодная деформация) и при 150°C (горячая деформация). Показана связь изменения твердости и размера элементов структуры с релаксационными процессами, соответствующими температуре деформации.

Известно, что в зависимости от температуры, давления, скорости и степени деформации в деформируемом материале будут развиваться различные структурообразующие релаксационные процессы: деформационное упрочнение (наклеп), динамический возврат, динамическая рекристаллизация, сдвиговые и диффузионные фазовые превращения[1]. Эти процессы могут способствовать, либо препятствовать формированию субмикроструктурной (субмикроструктурной) структуры и определять ее термическую стабильность. Метод деформации «сдвиг под давлением в наковальнях Бриджмена» позволяет изменять в широких пределах условия деформации и реализовать при деформации какого-либо одного материала все вышеуказанные структурообразующие процессы и выявить их сравнительное влияние на эволюцию структуры и свойств материала.

Целью настоящей работы было сравнительное исследование структуры никеля, сформированной в ходе деформации в наковальнях Бриджмена при комнатной температуре и при 150°C.

Исследован никель (99,98% Ni). Деформацию осуществляли методом сдвига под давлением 8 ГПа с углом поворота наковальни от 15° до 7 оборотов при температурах 20°C и 150°C. Твердость деформированных образцов измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,5Н по двум взаимно перпендикулярным диаметрам с шагом 0,25 мм. Структуру исследовали с помощью электронного микроскопа JEM 200CX.

Твердость никеля с увеличением логарифмической деформации при комнатной температуре выходит на насыщение, что обусловлено протеканием динамического возврата (Рис.1а). Твердость никеля, деформированного при 150°C изменяется немонотонно, но оказалась ниже, чем после холодной деформации.

Изменение размеров элементов структуры  $d$  (микрокристаллитов, субзерен и динамически рекристаллизованных зерен) согласуется с изменением твердости (Рис.1а, б). В никеле, деформированном при

комнатной температуре, стадии роста твердости ( $H$ ) соответствует уменьшение  $d$ , а на стадии насыщения твердости  $d$  не меняется. В никеле, деформированном при  $150^\circ\text{C}$ , до деформации  $e=6$  происходит рост элементов структуры при этом значения твердости не изменяются, а при  $e>6$  наблюдается рост  $H$  и уменьшение  $d$ ; в интервале  $8<e<11$  значения  $H$  и  $d$  стабилизируются. В никеле, деформированном при комнатной температуре, стадия стабилизация  $H$  и  $d$  связана с динамическим возвратом. При  $150^\circ\text{C}$  развивается динамическая рекристаллизация (Рис. 2).

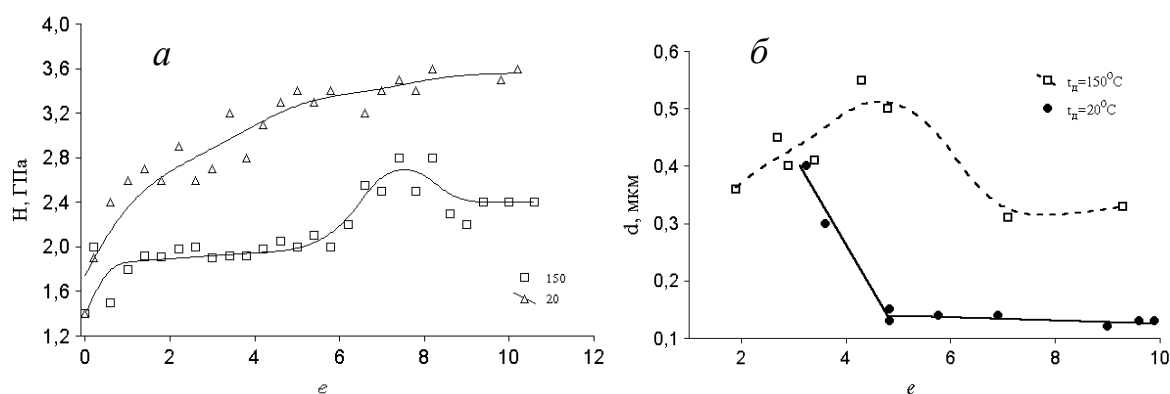


Рис. 1. Зависимость твердости никеля, деформированного при  $20^\circ\text{C}$  и  $150^\circ\text{C}$  (а) и размеров элементов структуры (б) от логарифмической деформации

Деформация при комнатной температуре развивается по механизму дислокационного скольжения, приводящего к формированию структуры ячеистого типа с малоугловыми разориентировками соседних ячеек. При дальнейшей деформации происходит переход к ротационным модам и образуются новые элементы структуры – микрокристаллиты с высокоугловыми деформационными границами[2]. Дальнейшая деформация приводит к установившейся стадии динамического возврата.

Деформация при  $150^\circ\text{C}$  с разным углом поворота наковальни привела к формированию качественно подобной структуры с неоднородным распределением дефектов (Рис. 2а, б). Наблюдаются структурные признаки динамической рекристаллизации: свободные от дислокаций зерна неправильной формы с широкими границами; скопления дислокаций около границ; мелкие кристаллиты и зерна, образующие ожерелья вокруг крупных зерен; зерна, содержащие неравномерно распределенные по объему свободные дислокации [3].

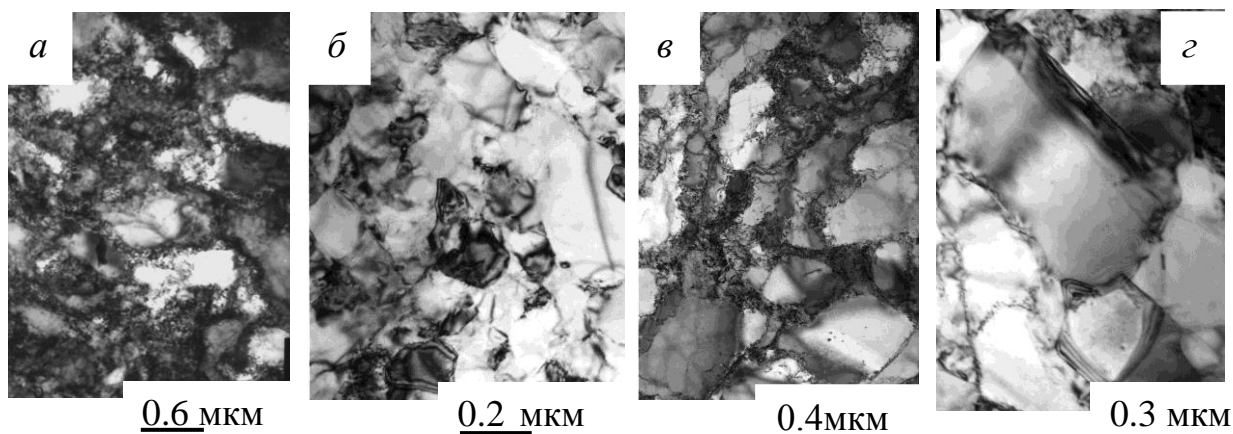


Рис.2. Микроструктура никеля после деформации при 20°C:  $e=1.4$  (а),  $e=6$  (б);

после деформации при 150°C:  $e=1.4$  (в),  $e=7$  (з)

Работа выполнена по теме ИФМ УрО РАН «Кристалл» и при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №14-03-31499. Электронно-микроскопическое исследование выполнено в ЦКП «Испытательный центр нанотехнологий и перспективных материалов» ИФМ УрО РАН.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Degtyarev M.V., Chashchukhina T.I., Voronova L.M., Patselov A.M. and Pilyugin V.P. Influence of the relaxation processes on the structure formation in pure metals and alloys under high-pressure torsion Acta Mater. V.55, 6039 (2007).
2. Пилюгин В.П., Гапонцева Т.М., Чашухина Т.И., Воронова Л.М., Щинова Л.И., Дегтярев М.В. Эволюция структуры и твердости никеля при холодной и низкотемпературной деформации под давлением. // ФММ. 2008. Т.105. Вып. 4. С. 438-448.
3. Левит В.И., Смирнов М.А. Высокотемпературная термомеханическая обработка аустенитных сталей и сплавов. Челябинск: ЧГТУ, 1995. С. 276.